

05;10;12

## Электромагнитные ливни в ориентированных кристаллах граната

© В.А. Басков, А.П. Бугорский, А.Н. Васильев, В.В. Ким,  
Б.И. Лучков, А.П. Мещанин, А.И. Мысник, В.В. Полянский,  
В.И. Сергиенко, В.Ю. Тугаенко, В.А. Хабло

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

Поступило в Редакцию 12 сентября 1997 г.

Измерены ориентационные зависимости энерговыделения ливня в прозрачных кристаллах граната толщиной 23 и 50 mm и влияние ориентации кристаллов на поглощение ливня в аморфном радиаторе.

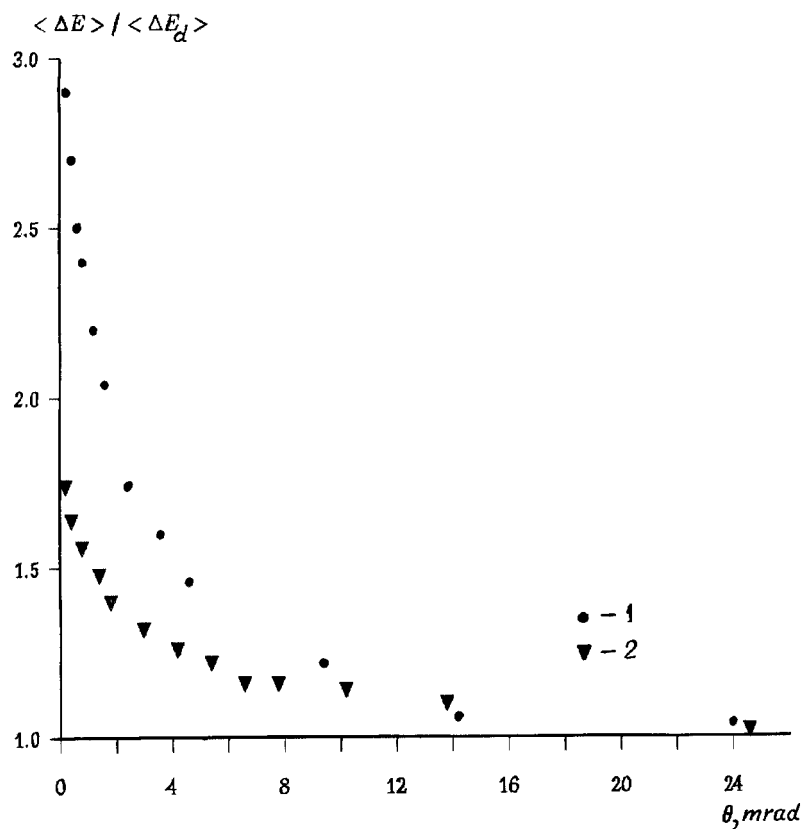
Электромагнитные ливни в кристаллах значительно сложнее ливней в аморфном веществе. Ливень в кристалле обладает ориентационной зависимостью своих характеристик (распределений по множественности ливневых частиц, импульсного распределения частиц и т.д.) от угла  $\theta$  между импульсом первичной частицы и кристаллографической осью. Кроме того, эти характеристики сложным образом зависят от энергии частицы и свойств кристалла. Специфические особенности ливней в кристаллах, начиная с энергии первичных  $\gamma$ -квантов  $\sim 1$  GeV и толщины кристалла  $\sim 0.02X_0$  ( $X_0$  — радиационная единица длины), были изучены в работах [1,2]. Ориентационная зависимость (ОЗ) среднего числа частиц ливня, выходящего из кристалла, имеет форму пика с максимумом при  $\theta = 0$ . Ширина пика для тонких легких кристаллов составляет порядка миллирадиана. На эффекте ОЗ была разработана конструкция гамма-телескопа высокого углового разрешения для  $\gamma$ -квантов с энергией  $> 1$  GeV и промоделирована его работа в условиях изотропного космического фона, близких к реальным [3,4]. Для толстых кристаллов интерес в области физики высоких энергий представляет другое направление использования ливневых эффектов, связанное с кристаллическими электромагнитными калориметрами. При переходе к энергиям регистрируемых электронов и  $\gamma$ -квантов в десятки и сотни GeV (например, в подготавливаемых экспериментах на LHC), потребовалось использование для электромагнитных калориметров прозрачных радиа-

ционно стойких радиаторов с малой протяженностью  $X_0$ . Как правило, этим условиям удовлетворяют искусственные кристаллы, содержащие атомы тяжелых элементов. Поэтому весьма актуальным стал вопрос об изучении ливневых эффектов в таких кристаллах, их положительном и отрицательном влиянии на работу калориметров.

В данной работе представлены первые такого рода измерения, выполненные на ускорителе в ИФВЭ, г. Протвино. Электронный пучок с энергией 26 GeV и расходимостью по основанию не более 1 mrad направлялся на кристалл искусственного галлий-гадолиниевого граната  $Gd_3Ga_5O_{12}$  [5], закрепленный в гониометре. Радиационная длина кристалла в разориентированном состоянии равна 1.45 см. Использовались кристаллы толщиной 23 и 50 mm. Измерения на гамма-дифрактометре показали, что мозаичность этих кристаллов не превышает  $10^{-2}$  mrad. Энерговыделение ливня в кристалле измерялось по черенковскому излучению фотоэлектронным умножителем, установленным на прозрачной грани кристалла. По средним амплитудам сигналов с ФЭУ было осуществлено ориентирование кристаллов кристаллографической осью  $\langle 111 \rangle$  на пучок. После кристалла по пучку располагался составной черенковский спектрометр (СЧС), содержащий установленные друг за другом счетчики с радиаторами из свинцового стекла ТФ1 толщиной по  $1X_0$ . Сигнал с каждого счетчика подавался на амплитудный анализ. За СЧС был размещен черенковский спектрометр полного поглощения С, измерявший энергию ливня, выходящего из кристалла и СЧС.

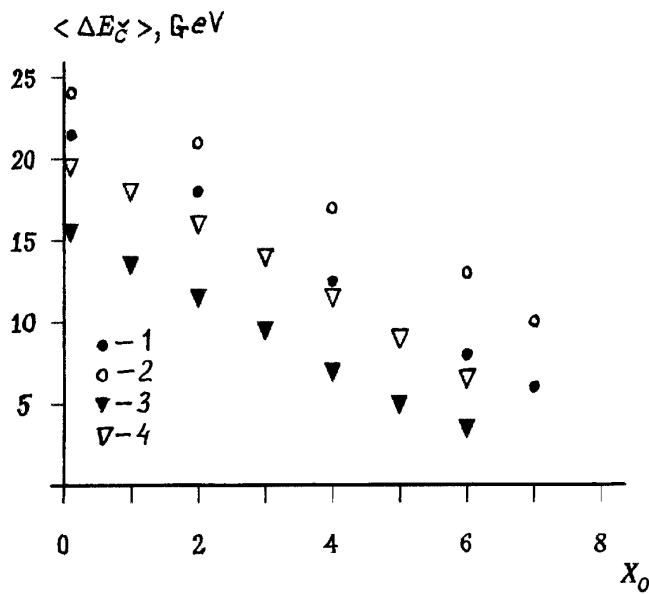
Целью измерений было определение ОЗ выделения энергии ливня в толстом прозрачном кристалле и влияние ориентации кристалла на длину аморфного радиатора, необходимую для поглощения ливня.

На рис. 1 представлены ОЗ среднего энерговыделения в кристаллах. ОЗ имеет симметричную по углу  $\theta$  форму, поэтому на рисунке показана половина пика. Значения нормированы на средние энерговыделения ( $\Delta E_d$ ) в этих же, но полностью разориентированных кристаллах. Статистические ошибки малы. В разориентированном кристалле ( $\theta \gg 0$ ) толщиной 23 mm выделилось около 1.4 GeV энергии первичных электронов, а при ориентации кристалла на ось ( $\theta = 0$ ) энерговыделение увеличилось до 3.9 GeV. Для кристалла толщиной 50 mm величины равны соответственно 5.8 и 10.1 GeV. Таким образом, с увеличением толщины кристалла относительное энерговыделение уменьшается. Полная ширина на половине высоты представленных зависимостей составляет порядка 4 mrad и незначительно увеличивается с толщиной кристалла.



**Рис. 1.** Ориентационные зависимости энерговыведения ливней в кристаллах граната толщиной 23 мм (точки 1) и 50 мм (точки 2).

Как было показано ранее [6,7], с ростом энергии первичных частиц увеличиваются вероятности радиационных процессов в ориентированном кристалле и  $X_0$  кристалла сокращается. Кристалл очень эффективно дробит энергию первичной частицы и ливень развивается на более коротких расстояниях, чем в разориентированном кристалле. В результате максимум каскадной кривой сдвигается к началу ливня и кривая становится короче. Требуется меньшая длина радиатора для



**Рис. 2.** Непоглощенная энергия ливня в зависимости от толщины поглотителя между кристаллом и  $\check{C}$ . Точки 1 и 2 — ливень начинается соответственно в ориентированном и разориентированном кристалле толщиной 23 mm, точки 3 и 4 — в кристалле толщиной 50 mm.

поглощения основной части ливня. Это показано на рис. 2. Ливень начинался в кристалле, развивался в СЧС, а энергия его непоглощенной части измерялась спектрометром С. В данном случае радиаторы СЧС играли роль аморфного поглотителя. Видно, что ориентация кристалла уменьшает энергию ливня, вышедшего из СЧС. Это уменьшение эквивалентно увеличению длины поглотителя на  $\sim 2X_0$ .

С ростом энергии первичных частиц показанные на рис. 1 и 2 ориентационные эффекты значительно увеличатся.

Из приведенных данных можно сделать следующий вывод. Использование при сверхвысоких энергиях в электромагнитном калориметре прозрачных искусственных кристаллов, изготовленных таким образом, что их кристаллографическая ось направлена под малыми углами к импульсам образовавшихся электронов и  $\gamma$ -квантов, приведет к появлению

в калориметре специфических электромагнитных ливней. Продольные и, возможно, поперечные размеры таких ливней могут сильно отличаться от обычных. Влияние "сжатия" ливня на энергетическое и пространственное разрешение калориметра требует дальнейшего изучения.

В заключение авторы считают своим долгом выразить искреннюю признательность чл.-кор. РАН С.С. Герштейну и профессору Н.Е. Тюрину за поддержку работы.

## Список литературы

- [1] *Басков И.А., Ганенко И.Б., Гуцин В.А.* и др. // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 50. С. 395–397.
- [2] *Басков В.А., Ганенко В.Б., Гуцин В.А.* и др. // ПТЭ. 1990. № 5. С. 73–75.
- [3] *Басков В.А., Ким В.В., Лучков Б.И.* и др. // ПТЭ. 1992. № 5. С. 52–55.
- [4] *Басков В.А., Ким В.В., Лучков Б.И.* и др. // ПТЭ. 1996. № 6. С. 15–18.
- [5] *Кеда О.А., Василенко М.В., Викторов Л.В.* и др. // Журн. прикл. спектроскопии. 1984. № 41. С. 867.
- [6] *Байер В.Н., Басков В.А., Ганенко В.Б.* и др. // ЖЭТФ. 1992. Т. 101. С. 1351–1354.
- [7] *Басков В.А., Ганенко В.Б., Жебровский Ю.В.* и др. // Письма в ЖЭТФ. 1993. Т. 57. С. 282–285.